

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターモット* (参考)
H 0 1 S	5/0687	H 0 1 S	5/0687
H 0 4 B	10/14	H 0 4 B	9/00
	10/06		S
	10/04		5 F 0 7 3
			5 K 0 0 2

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-298386(P2000-298386)

(22) 出願日 平成12年9月29日 (2000.9.29)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 小熊 健史

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100083987

弁理士 山内 梅雄

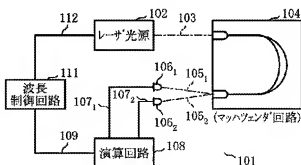
Fターム(参考) 5F073 AB21 AB25 AB28 BA02 EA03
CA385K002 AA01 BA13 CA05 CA10 CA11
DA02

(54) 【発明の名称】 出力監視制御装置および光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 1つの装置で比較的広範囲の波長に高精度に適用可能であり、また多くの波長に対して基本的に同一の構成で対応することのできる出力監視制御装置および光通信システムを提供すること。

【解決手段】 出力監視制御装置101は、レーザ光源102と、これから出射されるレーザ光103を入力するマッハツェンダ回路104と、このマッハツェンダ回路104から2方向に分岐して出力される光ビーム105₁、105₂を受光するフォトダイオード106₁、106₂と、これらの受光出力107₁、107₂の和と受光出力107₁の比を演算する演算回路108と、この演算結果109で波長のずれを検出してこれを解消するように制御する波長制御回路111を備えている。フォトダイオード106₁、106₂の出力は周期的な変動を示すので、波長範囲を特定できるように出力監視制御装置101を作り込むことで比較的広範囲の波長に高精度に適用する装置あるいはシステムを作成できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ビームを入射する2光束干渉計と、この2光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第1および第2の光・電気変換手段と、これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかあるいは双方を使用して前記和以外の演算を行った値との比をとる演算手段と、この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを具備することを特徴とする出力監視制御装置。

【請求項2】 光ビームを入射する2光束干渉計と、この2光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第1および第2の光・電気変換手段と、これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとる演算手段と、この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを具備することを特徴とする出力監視制御装置。

【請求項3】 損失波長特性の1周期に相当する間隔としてのフリー・スペクトル・レンジを所望の光周波数としたマッハツェンダ回路と、このマッハツェンダ回路に光ビームを入射したときその出力側から分岐して出力される光ビームをそれぞれ受光する第1および第2のフォトダイオードと、これらのフォトダイオードの出力電流の和と第1のあるいは第2のフォトダイオードの出力電流の比をとる演算手段と、この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを具備することを特徴とする出力監視制御装置。

【請求項4】 前記ずれ検出手段の検出結果を基にして波長を所望の値に保持することを特徴とする請求項1～請求項3記載の出力監視制御装置。

【請求項5】 前記演算手段による第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、この増減判別手段の判別結果から前記2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを具備することを特徴とする請求項1または請求項2記載の出力監視制御装置。

【請求項6】 前記演算手段による第1および第2のフォトダイオードの出力電流の和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、この増減判別手段の判別結果から前記マッハツェンダ回路の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを具備することを特徴とする請求項3記載の出力監視制御装置。

【請求項7】 前記フリー・スペクトル・レンジを1 T Uグリッドと同一の周期としたことを特徴とする請求

項3記載の出力監視制御装置。

【請求項8】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備え、前記アレイ導波路格子の少なくとも一部は、アレイ導波路格子によって分離された光信号を入力する2光束干渉計と、この2光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第1および第2の光・電気変換手段と、これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかあるいは双方を使用して前記和以外の演算を行った値との比をとる演算手段と、この比から波長のずれを検出するずれ検出手段と、このずれ検出手段の検出結果を基にしてアレイ導波路格子に入射する光ビームの波長を制御する波長制御手段を具備することを特徴とする光通信システム。

【請求項9】 前記演算手段による第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、この増減判別手段の判別結果から前記2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを具備することを特徴とする請求項8記載の光通信システム。

【請求項10】 前記2光束干渉計はマッハツェンダ回路であり、前記演算手段は前記第1および第2の光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとることを特徴とする請求項8記載の光通信システム。

【請求項11】 前記マッハツェンダ回路は導端路型干渉計であることを特徴とする請求項3記載の出力監視制御装置。

【請求項12】 前記マッハツェンダ回路は導端路型干渉計であることを特徴とする請求項10記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はレーザ光源の出力を監視する波長監視回路およびこの波長監視回路を使用した光通信システムに係わり、詳細にはレーザ光の波長の変動や出力の変動を監視したり波長や出力レベルを所望の値に保持するための波長監視回路および光通信システ

ムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、インターネットをはじめとする情報通信の急速な普及と共に、ネットワークのトラフィックが急激に増加している。これに伴い基幹回線網やアクセス網の大容量化の要求が高まっている。この要求に応えるために、光ファイバに複数の波長の異なる信号を多重するWDM (wavelength division multiplex: 波長分割多重伝送方式) による光ファイバ通信の技術が使われている。また、更なる通信容量の大容量化を目指して、通過する波長範囲の拡大、チャネル波長数の増加、チャネル波長間隔の狭小化についての技術開発が進み、DWDM (dense wavelength division multiplexing: 高密度波長分割多重通信方式) すなわち、ネットワークの幹線などで使われる多重度の高い波長分割多重方式の研究開発が活発に行なわれている。このような技術開発には、信号光として使用されるレーザー光の波長の安定化が求められる。

【0003】図11は特定の波長のレーザー光源から複数の波長のレーザー光を取得するために使用されるアレイ導波路回折格子の一般的な構成を表わしたものである。アレイ導波路回折格子11は、図示しない基板上に形成された1本または複数の入力導波路12と、複数本からなる出力導波路13と、異なった曲率でそれぞれ一定方向に曲がったチャネル導波路アレイ14と、入力導波路12とチャネル導波路アレイ14を接続する入力側スラブ導波路15と、チャネル導波路アレイ14と出力導波路13を接続する出力側スラブ導波路16とによって構成されている。入力導波路12から入射した多重信号光は、入力側スラブ導波路15によってその進路を広げる。そしてチャネル導波路アレイ14にそれぞれ等位相で入射する。入射光強度については入力側スラブ導波路15の各入射位置で等しくはなく、中央部ほど強度が強くなり、ばがぼく分布となっている。

【0004】チャネル導波路アレイ14では、これを構成する各アレイ導波路の間に一定の光路長差が設けられていて、光路長が順次長く、あるいは短くなるように設定されている。したがって、それぞれのアレイ導波路を導波する光には一定間隔ずつの位相差が付けられて出力側スラブ導波路16に到達するようになっている。実際には波長分散があるため、波長によってその等位相面が傾く。この結果、波長によって出力側スラブ導波路16と出力導波路13の界面上の異なった位置に光が結像(集光)する。波長に対応したそれぞれの位置に出力導波路13が配置されているので、出力導波路13からは任意の波長成分を取り出すことが可能になる。

【0005】ところでこのようなアレイ導波路回折格子11の中心波長は温度変化による導波路材料の屈折率の変化に非常に敏感である。このため、出力導波路13から出力される波長を監視してこれが変動しないように温

度の制御を行う必要がある。

【0006】図12は従来提案された出力監視制御装置の一例を表わしたものである。特開平11-31859号公報に開示されたこの装置で、レーザダイオード20から出力されたレーザー光21はカットフィルタ22を通過してビームスプリッタ23に入射する。ビームスプリッタ23によって透過した光24は図示しない測定装置や通信装置に入射されて安定した波長の光として使用される。ビームスプリッタ23によって反射した光ビーム25は、光バンドパスフィルタ26に入射する。この光バンドパスフィルタ26は光ビーム25と垂直に配置されている。このため入射した光ビーム25はその一部が透過光27として第1のフォトダイオード28₁に入射すると共に、残りの光が反射光29としてビームスプリッタ23を透過して第2のフォトダイオード28₂に入射する。

【0007】これら第1および第2のフォトダイオード28₁、28₂の受光出力31₁、31₂は出力比算出手段32に入力されて出力比が算出される。これによって得られたモニタ信号33は波長制御手段34に入力される。波長制御手段34は、この出力比が所定の値に保持されるようにレーザダイオード20の発光波長を制御する。発光波長の制御はレーザダイオード20の駆動電流を変化させたり周囲温度を変化させることによって行う。

【0008】図13は、この提案の装置による各部の信号レベルを表わしたものである。同図(a)は図12に示したカットフィルタ22の遮断後の周波数特性を表わしており、同図(b)は図12に示した光バンドパスフィルタ26の透過波長特性を示している。このようにカットフィルタ22が波長 λ_1 よりもわずかに短波長側から長波長側の光のみを透過するようにしているのが、第1のフォトダイオード28₁の受光レベルは図13(d)のようになり、第2のフォトダイオード28₂の受光レベルは図13(e)のようになる。したがって、これらのフォトダイオード28₁、28₂の出力比を所望の値に設定することでレーザダイオード20の発光波長を制御することができることになる。

【0009】図14は、図12に示した提案に類似した他の装置を示したものである。この図14で図12と同一部分には同一の符号を付しており、これらの説明を適宜省略する。特開2000-022559号公報に開示されたこの装置ではレーザダイオード20から出力されたレーザー光21を、光軸に対して傾斜した干渉光フィルタ41に入射させ、透過光24を第1のフォトダイオード28₁に入射させると共に、反射光43を第2のフォトダイオード28₂に入射するようになっている。

【0010】これら第1および第2のフォトダイオード28₁、28₂の受光出力44₁、44₂は出力比算出手段32に入力されて出力比が算出される。これによって得

られたモニタ信号 45 は波長制御手段 34 に入力され、出力が所定の値に保持されるようにレーザダイオード 20 の発光波長の制御が行われる。

【0011】一方、図 15 はエタロンを使用して波長の監視制御を行う従来提案された装置の要部を示したものである。ここでエタロンとは 2 面の高反射フィルタを向きあわせて配置したものであり、一種のファブリ・ペロー干渉計である。特開 2000-223761 号公報に開示された図 15 に示した装置では、レーザダイオード 20 から出力されたレーザ光 21 を第 1 のビームサンプラ 51 で分岐してわずかに角度の異なる 2 つの分岐光 52、53 を得ている。これらの分岐光 52、53 はエタロン 54 に入射し、第 1 および第 2 のフォトダイオード 55₁、55₂ で受光され、互いに、波長一透過率特性の位相の異なる特性が得られる。演算部 56 では波長一透過率特性を正規化し、交互に直線性の良い波長一透過率曲線を用いて基準波長からの波長変化分を算出する。

【0012】一方、第 1 のビームサンプラ 51 の透過光 57 は第 2 のビームサンプラ 58 に入射して、同様にわずかに角度の異なる 2 つの分岐光 61、62 が得られる。一方の分岐光 61 はそのまま第 3 のフォトダイオード 55₃ で受光される。他方の分岐光 62 はスロープフィルタ 64 を経て第 4 のフォトダイオード 55₄ で受光される。演算部 56 ではスロープフィルタ 64 の波長一透過率から入射光の基準波長を得る。そしてこの基準波長と波長変化分とを加算することで、入射光としてのレーザ光 21 の正確な波長を得るようにしている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】このような各種の提案の出力監視制御装置で、図 12 および図 14 に示した装置では 2 つのフォトダイオード 28₁、28₂ の受光出力 31₁、31₂ の比を所定の値に設定することでレーザ光の波長を制御している。したがって、図 13 の (d) および (e) に示したように互いの受光出力 31₁、31₂ を示す特性曲線が相補的に互いに逆向きの傾斜を有する局所的な領域に対応する極限した波長領域でのみレーザ光の波長の制御が可能であるという問題があった。図 12 および図 13 の例で述べれば、カットフィルタ 22 を使用して図 13 の (a) に示すように制御可能な波長領域を λ_1 よりも長波長側に制限している。これよりも短波長側を含めたいと同一の比をとる波長が箇所存在することになって、特定の波長に制御することができないからである。

【0014】また、 λ_1 よりも長波長側に制限しているとしても図で、光バンドパスフィルタ 26 の透過率が最低となった反射率が最高となる波長 λ_1 以降の制御を行うことができない。もちろん、光バンドパスフィルタ 26 の特性を選択することで、2 つの波長 λ_1 、 λ_2 の範囲をある程度大きく取るとは可能である。しかしながらこれらの波長範囲を大きく取ると、相対的に光バン

ドパスフィルタ 26 の透過率あるいは反射率を示す曲線の傾きが緩やかになり、波長が単位値変化したときの 2 つのフォトダイオード 28₁、28₂ の受光出力 31₁、31₂ の差が減少となる。これにより、波長を所望の値に制御するための精度が劣化することになる。

【0015】したがって、従来のこのような装置では図 11 に示したようなアレイ導波路回折格子等の手段によって広い波長範囲で光信号の波長を個々に制御しようとすると、幾つもの波長帯域について独自の構成の出力監視制御装置を必要とした。したがって、このための開発に時間を要するだけでなく、これらの出力監視制御装置のコストダウンが困難であるといった問題があった。

【0016】一方、図 15 に示したエタロンを使用して波長の監視制御を行う装置ではこのような問題が生じず、比較的広範囲の波長に高精度で適用可能である。しかしながら、図 15 に示したこの提案では 2 つの第 1 のビームサンプラ 51、58 を使用し、これに伴ってその他の部品の数も増加する。したがって、装置が大型化するだけでなくコストダウンが困難になるという問題がある。

【0017】そこで本発明の目的は、1 つの装置で比較的広範囲の波長に高精度に適用可能でしかも装置の構成を簡略化することのできる出力監視制御装置および光通信システムを提供することにある。

【0018】本発明の他の目的は、多くの波長に対して基本的に同一の構成で対応することのできる出力監視制御装置および光通信システムを提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項 1 記載の発明では、(イ) 光ビームを入射する 2 光束干渉計と、(ロ) この 2 光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第 1 および第 2 の光・電気変換手段と、(ハ) これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第 1 および第 2 の光・電気変換手段の変換出力のいずれかあるいは双方を使用して和以外の演算を行った値との比をとる演算手段と、(ニ) この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを出力監視制御装置に具備させる。

【0020】すなわち請求項 1 記載の発明では、2 光束干渉計から分岐して出力される光ビームを第 1 および第 2 の光・電気変換手段でそれぞれ受光するようにしている。第 1 および第 2 の光・電気変換手段の変換出力は波長によって周期的に変動するが、これらの和と波長に係わらず一定しているのを利用して、和と和以外の演算を行った値（一方の変換後の出力を値とする場合を含む）とを比較することで波長のずれを検出することになっている。和以外の演算を行った値の他の例としては第 1 および第 2 の光・電気変換手段の変換出力の差をとった値を挙げることができよう。差をとることで、マッハツェンダ回路の出力する光のレベルの傾き（トレランス）を

実効的に2倍にすることができる。なお、請求項1でいう演算手段の意味は、「入力パワーレベルを補償し、マッハツェンダ回路の損失波長依存性を用いて波長シフトを検出することのできる演算手段」ということになる。第1および第2の光・電気変換手段の変換出力は周期的な変動を示すので、比較的広範囲の波長あるいは多波長に対して基本的に同一構成の出力監視制御装置を使用することができる。

【0021】請求項2記載の発明では、(イ) 光ビームを入射する2光束干渉計と、(ロ) この2光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第1および第2の光・電気変換手段と、(ハ) これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとる演算手段と、(ニ) この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを出力監視制御装置に具備させる。

【0022】すなわち請求項2記載の発明では、2光束干渉計から分岐して出力される光ビームを第1および第2の光・電気変換手段でそれぞれ受光するようにしている。第1および第2の光・電気変換手段の変換出力は波長によって周期的に変動するが、これらの和が波長に係わらず一定していることを利用して、和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとることで波長のずれを検出することになっている。第1および第2の光・電気変換手段の変換出力は周期的な変動を示すので、比較的広範囲の波長あるいは多波長に対して基本的に同一構成の出力監視制御装置を使用することができる。

【0023】請求項3記載の発明では、(イ) 損失波長特性の1周期に相当する間隔としてのフリー・スペクトラル・レンジを所望の光周波数としたマッハツェンダ回路と、(ロ) このマッハツェンダ回路に光ビームを入射したときその出力側から分岐して出力される光ビームをそれぞれ受光する第1および第2のフォトダイオードと、(ハ) これらのフォトダイオードの出力電流の和と第1のあるいは第2のフォトダイオードの出力電流の比をとる演算手段と、(ニ) この比から波長のずれを検出するずれ検出手段とを出力監視制御装置に具備させる。

【0024】すなわち請求項3記載の発明では、損失波長特性の1周期に相当する間隔としてのフリー・スペクトラル・レンジ(FSR: Free Spectral Range)を所望の光周波数としたマッハツェンダ回路を用意して、このマッハツェンダ回路から分岐して出力される光ビームを第1と第2のフォトダイオードに別々に受光させ、演算手段でこれらのフォトダイオードの出力電流の和と第1のあるいは第2のフォトダイオードの出力電流の比をとることになっている。第1および第2のフォトダイオードの出力電流は波長によって周期的に変動するが、これらの和が波長に係わらず一定していることを利用して、和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のい

ずれかの出力との比をとることで波長のずれを検出しこれを用いて波長を制御することができる。

【0025】請求項4記載の発明では、請求項1～請求項3記載の出力監視制御装置で、ずれ検出手段の検出結果を基にして波長を所望の値に保持することと特徴としている。

【0026】すなわち請求項4記載の発明では、ずれが無くなるように、あるいはずれが一定値となるように制御することで波長を所望の値に設定する。

【0027】請求項5記載の発明では、請求項1または請求項2記載の出力監視制御装置で、(イ) 演算手段による第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、(ロ) この増減判別手段の判別結果から2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを更に具備することを特徴としている。

【0028】すなわち請求項5記載の発明では、入力する光ビームの強さが変わらなければ第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和が一定になるという前提を利用し、もしこれらの和が増減するようであれば2光束干渉計の出力する光のレベルが変動しているものとして光のレベル変動を検出することになっている。請求項1または請求項2記載の出力監視制御装置では第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和を必須のものとして求めているので、これを用いて簡単に2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出し、これを一定にする等の制御が可能になる。

【0029】請求項6記載の発明では、請求項3記載の出力監視制御装置で、(イ) 演算手段による第1および第2のフォトダイオードの出力電流の和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、(ロ) この増減判別手段の判別結果からマッハツェンダ回路の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを更に具備することを特徴としている。

【0030】すなわち請求項6記載の発明では、入力する光ビームの強さが変わらなければ第1および第2のフォトダイオードの出力電流の和が一定になるという前提を利用し、もしこれらの和が増減するようであればマッハツェンダ回路の出力する光のレベルが変動しているものとして光のレベル変動を検出することになっている。請求項3記載の出力監視制御装置では第1および第2のフォトダイオードの出力電流の和を必須のものとして求めているので、これを用いて簡単にマッハツェンダ回路の出力する光のレベル変動を検出し、これを一定にする等の制御が可能になる。

【0031】請求項7記載の発明では、請求項3記載の出力監視制御装置で、フリー・スペクトラル・レンジを1 Tグリッドと同一の周期としたことを特徴としている。

【0032】すなわち請求項7記載の発明では、損失波長特性の1周期に相当する間隔としてのフリースペクトラ・レンジをITU (International Telecommunication Union: 国際電気通信連合) で定めたITUグリッド (grid) と等しくなるように装置の設計を行うことで規格に対応した処理を可能にしている。

【0033】請求項8記載の発明では、(イ) 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ) この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、(ハ) このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、(ニ) この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ) 光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、(ヘ) このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備えた光通信システムで、(ト) アレイ導波路格子の少なくとも一部は、アレイ導波路格子によって分離された光信号を入力する2光束干渉計と、この2光束干渉計の出力側に配置され分岐して出力される光ビームを受光する第1および第2の光・電気変換手段と、これらの光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかあるいは双方を使用して和以外の演算を行った値との比をとる演算手段と、この比から波長のずれを検出するずれ検出手段と、このずれ検出手段の検出結果を基にしてアレイ導波路格子に入射する光ビームの波長を制御する波長制御手段を具備させることを特徴としている。

【0034】すなわち請求項8記載の発明では、アレイ導波路格子を使用して波長分割多重伝送方式等により通信を行う光通信システムにおいて、アレイ導波路格子の少なくとも一部に対応させて請求項1記載の発明のような波長制御手段を具備させることで、効率的で信頼性のある通信を実現している。

【0035】請求項9記載の発明では、請求項8記載の光通信システムで、(イ) 演算手段による第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和の演算結果の増減を判別する増減判別手段と、

(ロ) この増減判別手段の判別結果から2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出するレベル変動検出手段とを更に具備することを特徴としている。

【0036】すなわち請求項9記載の発明では、請求項8記載の光通信システムで第1および第2の光・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和をとることに着目して、請求項5記載の発明のように2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出するようにしている。

【0037】請求項10記載の発明では、請求項8記載の光通信システムで、2光束干渉計はマッハツェンダ回路であり、演算手段は第1および第2の光・電気変換手

段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとることを特徴としている。

【0038】すなわち請求項10記載の発明では、請求項8記載の光通信システムで、2光束干渉計および演算手段をそれぞれマッハツェンダ回路と、第1および第2の光・電気変換手段の変換出力の和と第1および第2の光・電気変換手段の変換出力のいずれかの出力との比をとることに具体化したものである。

【0039】請求項11および請求項12記載の発明では、マッハツェンダ回路は導端路型干渉計であることを特徴としている。マッハツェンダ回路は導端路型干渉計に限定する必要はないが、入力端だけでなく出力端も回路の同じ側の端部に配置された導端路型干渉計を使用することで、モジュールの小型化に貢献することができる。また、入出力端の光路差をR状に屈曲した箇所を得るようにしているため、入力端と出力端を素子を構成する基板の異なった側に配置する構成のものに比べると、素子の小型化を図ることができる。このため、1つのウエハから製造できる素子の収量増を図ることができ、コストの低減に寄与することになる。

【0040】

【発明の実施の形態】

【0041】

【実施例】以下実施例につき本発明を詳細に説明する。

【0042】第1の実施例

【0043】図1は、本発明の第1の実施例における出力監視制御装置の構成を示したものである。出力監視制御装置101は、レーザ光源102と、これらから出射されるレーザ光103を入力する2光束干渉計としてのマッハツェンダ回路104と、このマッハツェンダ回路104から2方向に分岐して出力される一方のレーザビームとしての第1の光ビーム105₁を受光する第1のフォトダイオード106₁と、第2の光ビーム105₂を受光する第2のフォトダイオード106₂と、これらのフォトダイオード106₁、106₂の受光出力107₁、107₂を演算する演算回路108と、この演算回路108の演算結果109を入力する波長制御回路111を備えている。波長制御回路111から出力される制御信号112はレーザ光源102に入力され、その波長の制御が行われる。波長の制御は、レーザ光源102を構成する図示しないレーザダイオードの駆動電流を変化させたりその周囲温度を変化させることによって行うことができる。

【0044】なお、この図1では導端路型干渉計型のマッハツェンダ回路104を使用している。本発明で使用するマッハツェンダ回路104は導端路型干渉計に限る必要はないが、導端路型干渉計を使用した場合には、図1に示したような入力端と出力端が異なった端部に配置されたものと比べると、入力端だけでなく出力端も

回路の同じ側の端部に配置された導端型干渉計を使用することで、モジュールの小型化に貢献することができる。また、入出力端の光路差をR状に屈曲した箇所を得るようにしているため、入力端と出力端を素子を構成する基板の異なる側に配置する構成のものとは比べ、素子の小型化を図ることができる。

【0045】図2は、第1および第2のフォトダイオードの受光によって出力される電流と演算回路の演算内容の関係を説明するためのものである。第1のフォトダイオード106₁の受光出力107₁としての電流値は、光周波数が変化すると、損失波長特性の1周期に相当する間隔としての所定の周期フリー・スペクトラル・レンジ（以下、単にFSRという。）の正弦波としての変化を示す。第2のフォトダイオード106₂の受光出力107₂としての電流値も位相が180度ずれた形で同様の变化を示す。ここで本実施例では、周期FSRがITU（International Telecommunication Union：国際電気通信連合）で定めたITUグリッド（grid）と等しくなるように装置の設計を行っている。

【0046】第1のフォトダイオード106₁の受光出力107₁と第2のフォトダイオード106₂の受光出力107₂の位相が180度ずれているので、これらの電流値をそれぞれ I_{PD1} 、 I_{PD2} として表わすと、これらの和はいずれの光周波数においても常に等しくなる。

【0047】演算回路108は、これら電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} の和と第1のフォトダイオード106₁の受光出力の電流値 I_{PD1} との比Aを演算する。これは次の（1）式で表わすことができる。

【0048】

【数1】

$$A = \frac{I_{PD2}}{I_{PD1} + I_{PD2}} \quad \dots\dots (1)$$

【0049】この値Aが常に所定の値となるように制御信号112をレーザ光源102に入力することで、レーザ光源102の出力する波長を所望の値に制御することができる。ここで2つの電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} は、周期以上の長さで周期的に変化する。したがって、従来の技術と異なる広い範囲な波長の範囲で所望の波長に設定することが可能になる。すなわち、たとえばレーザ光源102の温度を t_1 度近傍に調整することで、光周波数 f_1 近傍のレーザ光103を出力させ、これを光周波数 f_1 あるいはその近傍の所定の光周波数に保持させることができる。また、この温度を t_1 度とは異なる他の t_2 度近傍にレーザ光源102の温度を調整することで、他の光周波数 f_2 近傍のレーザ光103を出力させ、これを光周波数 f_2 あるいはその近傍の他の所定の光周波数に保持させることができることとなる。

【0050】特に、図2に示した電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線の傾きが急峻となっている任意の位置に制御対象となる光周波数を設定すると、高精度の波長制御が

可能になる。たとえば図2で波長 λ_1 を制御対象となる波長とする。波長 λ_1 に対応する電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線上の点を動作点121、122とする。また、波長 λ_1 から僅かに $\Delta\lambda$ だけ長波長側の波長 $(\lambda_1 + \Delta\lambda)$ における電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線上の点を動作点123、124とする。

【0051】この場合、波長 λ_1 から波長 $(\lambda_1 + \Delta\lambda)$ に変動すると、前記した（1）式の値Aは2つの動作点121、123の電流値の差を ΔP とすると、 $\Delta P / (I_{PD1} + I_{PD2})$ となる。電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線の傾きが急峻となっている場所では差 ΔP が比較的大きな値をとるので、波長 λ_1 の近傍にレーザ光103を高精度に合わせ込むことができる。

【0052】また、この図2の4つの動作点121～124から明らかなように、（1）式以外に各種の式を作成して波長の制御が可能になる。たとえば（1）式の分子の電流値 I_{PD1} の代わりにもう1つの電流値 I_{PD2} を使用しても波長の変動を検出することができ、所定の波長に合わせ込む制御が可能になる。

【0053】なお、図2で示されるように正弦波の1周期FSRについて考えると、2つの動作点121、122と全く同一の電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を有する点は更に2点125、126が存在する。これらは波長が周期FSRの2分の1だけずれた点である。しかしながらこれらの2点125、126の場合には、波長が $\Delta\lambda$ だけ増加あるいは減少した際の（1）式の分子としての電流値 I_{PD1} の符号の正負が逆になる。したがって、演算結果が異なることになり、正弦波の1周期FSR分の波長の範囲内で制御対象の波長の特定が可能になる。

【0054】図3は、電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線の複数周期分を表わしたものである。縦軸は電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} のピーク値をそれぞれ“1”とした電流値を表わしており、横軸は光周波数を表わしている。既に説明したように電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線は正弦波であり、複数周期を連続する。したがって、ある光周波数 f_0 のときと光周波数に対する電流の比 dI/df および電流値が等しくなる光周波数 f_n は次の（2）式の通りとなる。

$$f_n = f_0 \pm n \text{FSR} \quad \dots\dots (2)$$

ただし、整数 n は周期の数をいう。

【0055】たとえば周期FSRを50GHz（ギガヘルツ）とし、光周波数 f_0 を任意のITUグリッド波長に設定する。すると50GHzのITU間隔の光周波数 f_1 、 f_2 、……で電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} が同一の値を示すようになり、任意のITU波長での動作が可能になる。

【0056】以上、発信周波数の変化を演算回路108で検出して波長制御回路111がその変化を無くす方向で制御することとして所望の波長あるいは発信周波数に固定する制御を説明した。本実施例ではレーザ光103の出力が変動したときも、実施例の出力監視制御装置を使用

することで、レーザ光の出力変動を補正することができる。すなわち、レーザ光源102から出射されるレーザ光103の出力が変動することで第1および第2のフォトダイオード106₁、106₂の受光出力107₁、107₂が変動すると、電流値 I_{PM1} 、 I_{PM2} の和が増減する。したがって、(1)式の分母を算出した過程でその変動をチェックし、これを一定値に保持することで出力レベルの変動の判別と出力変動の補正が可能になる。

【0057】第2の実施例

【0058】以上説明した第1の実施例ではレーザ光源102から1つの波長のレーザ光源を出力する場合のその監視および制御について説明した。本実施例の出力監視制御装置はこのような1つの波長だけでなく複数の波長に対応させた汎用性の高い装置である。したがって、これを複数組用意してそれぞれ別々の波長に対応させることで高密度波長分割多重通信方式等の光通信システムの制御に対応することができる。これを本発明の第2の実施例として次に説明する。

【0059】図4は本発明の第2の実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたものである。この光通信システムで、送信側に配置された図示しないSONET (Synchronous Optical Network) 装置に接続された光送信機201から送り出される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号は光マルチプレクサ (MUX) 202で多重された後、ブースタアンプ203で増幅されて光伝送路204に送り出される。光マルチプレクサ202は、図11に示したようなアレイ導波路回折格子 (AWG: arrayed waveguide) で構成されている。多重化された光信号205はインラインアンプ206で適宜増幅された後、プリアンプ207を経て光マルチプレクサ (DMUX) 208で元の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に分離され、光受信機209で受信されるが、その途中の光伝送路204に適宜の数のノード (OADM) 211₁~211_Mが配置されている。これらのノード211₁~211_Mでは、所望の波長の光信号が入出力されることになる。

【0060】図5は、ノードの構成の概要を示したものである。ここでは第1のノード211₁を示しているが、第2~第Mのノード211₂~211_Mも原理的には同一の構成となっている。図1に示した光伝送路204は、第1のノード211₁の入力側アレイ導波路回折格子 (AWG) 221に入力されて波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号に分離され、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ ごとに設けられた2入力2出力の光スイッチ221~222によって、それぞれの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号をノード側受信部226に取り込む (drop) と共に、ノード側送信部224から送信した光信号を挿入する (add)。2入力2出力の光スイッチ221~222の出力側はそれぞれに対応して設けられたアッテネータ (ATT) 227₁~227_Nによってゲインを調整された後に出力側アレイ導波路回折格子228に入力されるようになってい

る。出力側アレイ導波路回折格子228は入力側アレイ導波路回折格子221と逆の構成の素子であり、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号を多重して光伝送路204に光信号205として送り出すことになる。

【0061】このように図5に示した第1のノード211₁を始めとして、図4に示した第2~第Mのノード211₂~211_Mおよび光伝送路202ならびに光マルチプレクサ208は共にアレイ導波路回折格子を使用している。したがって、光信号205のチャネル数Nが多くなる要請の下で、アレイ導波路回折格子の出力側スラブ導波路16 (図11参照) から多チャネルで取り出される各レーザ光の波長の安定化や出力レベルの監視が重要となる。このため、図4に示すようにこれら各211₁~211_Mおよび光送信機201には、これらに対応してそれぞれ出力監視制御装置231₁~231_Mおよび231sが取り付けられている。

【0062】図6は、この第2の実施例で使用される出力監視制御装置の構成の概要を表わしたものである。ここでは出力監視制御装置231₁の例を示すが、他の出力監視制御装置231₂~231_Mおよび231sも構成はこれと実質的に同一である。

【0063】出力監視制御装置231₁は、第1の実施例におけるマッハツェンダ回路104 (図1参照) と同一構成の第1~第Nのマッハツェンダ回路104₁~104_Nを備えており、それぞれが図5に示した入力側アレイ導波路回折格子 (AWG) 221からモニタ用に出される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号241₁~241_Nのうちの対応するものを入力するようになっている。第1~第Nのマッハツェンダ回路104₁~104_Nの出力側には、それぞれ図1に示した同一構成の第1および第2のフォトダイオード106₁、106₂が配置されており、これらの受光出力はそれぞれ対応する第1~第Nの演算回路108₁~108_Nに入力されて先の実施例と同様の演算が行われるようになっている。

【0064】第1~第Nのマッハツェンダ回路104₁~104_Nには、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のそれぞれ異なる光信号が入力される。したがって、第1の実施例の図2で説明したようにそれぞれの波長に対応した周期FSRとなるようにこれらのマッハツェンダ回路104₁~104_Nの調整が予め行われている。このような調整は、たとえばマッハツェンダ回路104₁~104_Nの基板温度をそれぞれに適した温度に制御することによって実現することができる。したがって、第1~第Nのマッハツェンダ回路104₁~104_Nに対応する第1~第Nの演算回路108₁~108_Nは、それぞれ対応する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号を特定してその電流値 I_{PM1} 、 I_{PM2} の和と第1のフォトダイオード106₁の受光出力の電流値 I_{PM} との比を演算することができる。

【0065】第1~第Nの演算回路108₁~108_Nから出力されるそれぞれの演算結果109₁~109_Nは波

長制御回路251に入力されて、波長のずれの検出結果を基にして入力側アレイ導波路回折格子221に対する波長の制御が行われることになる。なお、第1〜第Nの演算値 $1081 \sim 108N$ でそれぞれの電流値 $I_{01} \sim I_{0N}$ の和を求めるので、この結果を波長制御回路251に入力することで、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号それぞれの信号レベルの増減のチェックおよび信号レベルを一定にする制御も可能である。

【0066】図7は、この第2の実施例で使用される入力側アレイ導波路回折格子における出力側スラブ導波路の端部近傍を示したものである。通常の出力側スラブ導波路は図1に示した出力側スラブ導波路16のようにその出力端に出力導波路13のみが接続されている。本実施例の出力側スラブ導波路261は、その出力側の中央付近に本来の出力導波路262を配置し、その両隣に所定の間隔を置いて1対のモニタ用出力導波路263、264を配置している。これらのモニタ用出力導波路263、264のうちで不良品でない方を選択して、これらを分岐させて図5に示した第1〜第Nのマッハツェンダ回路1041〜104Nに接続している。

【0067】第1の変形例

【0068】図8は、第2の実施例で示した出力側スラブ導波路の端部近傍の変形例としての第1の変形例を示したものである。この第1の変形例の出力側スラブ導波路261Aは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に対応するN本の出力導波路262と、1本のモニタ用出力導波路271を配置している。このためこの変形例では、入力側アレイ導波路回折格子(AWG)221等の1つのアレイ導波路回折格子から1つのモニタ出力を得るようにしており、これを用いてそのアレイ導波路回折格子から出力される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号の全体的な波長制御を行うようになる。

【0069】第2の変形例

【0070】図9および図10は、本発明の出力監視制御装置を構成する制御回路の要部を収容したパッケージを第2の変形例として示したものである。このうち図9はその内部構造を上から見たものであり、図10は内部構造を側方から見たものである。マッハツェンダ回路104の入力側にはレーザ光を入射するための光ファイバ301が接続されている。図1に示した第1および第2のフォトダイオード1061、1062はフォトダイオード用サブマウント302に実装されて、マッハツェンダ回路104の出力側に配置されている。このフォトダイオード用サブマウント302はフォトダイオード用配線基板303に取り付けられており、ここから外部に受光出力を取り出すための4本の信号線305が引き出されている。

【0071】マッハツェンダ回路104の下にはこれよりも僅かに面積の小さな銅板306が配置されており、更にその下には、パッケージ本体307の底部に下端部

を取り付けたベルチ要素308が配置されている。銅板306の表面には図示しない溝が切られていて、この部分に小型のサーミスタの温度検出部分309が埋め込まれている。サーミスタの温度検出部分309から引き出された2本のリード線311、312とベルチ要素308の駆動用制御線313、314は駆動用サブマウント315に接続されており、ここから4本の制御線317が外部に引き出されている。

【0072】この第2の変形例ではマッハツェンダ回路104の特に温度制御を行う必要のある基板部分を覆うような形で銅板306を配置してこの箇所をベルチ要素308で温度制御しているもので、この部分を均一な温度とすることができる。しかも銅板306にサーミスタの温度検出部分309を2本のリード線311、312の一部と共に埋め込んでいるので、これらのリード線311、312の部分から外部の温度が温度検出部分309に伝達する不具合を効果的に抑えることができる。

【0073】この第2の変形例の4本の信号線305および4本の制御線317は、パッケージ本体307の外部の図示しない回路部分に接続されており、光ファイバ301を伝送されるレーザ光の波長が所定の値になるような制御が行われるようになっている。

【0074】

【発明の効果】以上説明したように請求項1、請求項2および請求項4記載の発明によれば、2光束干渉計から分岐して出力される光ビームを第1および第2の光・電気変換手段でそれぞれ受光しこれらの変換出力の和等を使用して波長のずれを検出するので、簡単な構成で波長のずれの検出や波長を一定にする制御が可能になる。また、第1および第2の光・電気変換手段の変換出力は周期的な変動を示すので、比較的大範囲の波長あるいは多波長に対して基本的に同一構成の出力監視制御装置を使用することができるので、その量産効果によって装置のコストダウンを図ることができる。

【0075】また請求項3、請求項4、請求項7、請求項11記載の発明によれば損失波長特性の1周期に相当する間隔としてのFSRを所望の光周波数としたマッハツェンダ回路を用いて、このマッハツェンダ回路から分岐して出力される光ビームを第1と第2のフォトダイオードに別々に受光させ、演算手段でこれらのフォトダイオードの出力電流の和と第1の電流あるいは第2のフォトダイオードの出力電流の比をとることにしているので、簡単な構成で波長のずれの検出や波長を一定にする制御が可能になる。また、第1および第2のフォトダイオードの出力電流は周期的な変動を示すので、比較的大範囲の波長あるいは多波長に対して基本的に同一構成の出力監視制御装置を使用することができるので、その量産効果によって装置のコストダウンを図ることができる。

【0076】更に請求項5記載の発明によれば、入力する光ビームの強さが変わらなければ第1および第2の光

・電気変換手段の変換後の電気信号の信号レベルの和が一定になるという前提を利用し、もしこれらの和が増減するようであれば2光束干渉計の出力する光のレベルが変動しているものとして光のレベル変動を検出するので、簡単に2光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出し、これを一定にする等の制御が可能になる。

【0077】また請求項6記載の発明によれば、入力する光ビームの強さが変わらなければ第1および第2のフォトダイオードの出力電流の和が一定になるという前提を利用し、もしこれらの和が増減するようであればマッハツェンダ回路の出力する光のレベルが変動しているものとして光のレベル変動を検出するので、簡単にマッハツェンダ回路の出力する光のレベル変動を検出し、これを一定にする等の制御が可能になる。

【0078】更に請求項8記載～請求項10および請求項12の発明によれば、アレイ導波路格子を使用して波長分割多重伝送方式等により通信を行う光通信システムにおいて、アレイ導波路格子の少なくとも一部に対応させて請求項1記載の発明のような波長制御手段を具備させることで、効率的で信頼性のある通信を実現することができる。また、波長の制御のための回路装置が各波長について同一の構成となっており量産性があるのでシステムを安価に実現できるだけでなく部品の管理や保守が簡単になる。

【0079】また請求項9記載の発明によれば、請求項8記載の光通信システムで特別な回路を付加することなく光束干渉計の出力する光のレベル変動を検出することができる。

【0080】更に請求項11または請求項12記載の発明によれば、入力端だけでなく出力端も回路の同じ側の端部に配置された導波路型干渉計を使用することで、モジュールの小型化に貢献することができる。また、入出力端の光路差をR状に屈曲した箇所を得るようにしているため、入力端と出力端を素子を構成する基板の異なる側に配置する構成のものと比べると、素子の小型化を図ることができる。このため、1つのウエハから製造できる素子の取量増を図ることができ、コストの低減に寄与することになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例における出力監視制御装置の構成を示した概略構成図である。

【図2】第1および第2のフォトダイオードの受光によって出力される電流と演算回路の演算内容の関係を示した説明図である。

【図3】電流値 I_{PD1} 、 I_{PD2} を表わす曲線の複数周期分

を表わした説明図である。

【図4】本発明の第2の実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたシステム構成図である。

【図5】第2の実施例の光通信システムに使用されるノードの構成の概要を示したブロック図である。

【図6】第2の実施例で使用される出力監視制御装置の構成の概要を表わしたブロック図である。

【図7】第2の実施例で使用される入力側アレイ導波路回折格子における出力側スラブ導波路の端部近傍を示した要部平面図である。

【図8】出力側スラブ導波路の端部近傍の変形例としての第1の変形例を示した平面図である。

【図9】本発明の第2の変形例における出力監視制御装置を構成する制御回路の要部を収容したパッケージの内部を示す平面図である。

【図10】第2の変形例におけるパッケージの内部を示す側面図である。

【図11】従来のアレイ導波路回折格子の全体的な構成を表わした平面図である。

【図12】従来提案された出力監視制御装置の一例を表わしたブロック図である。

【図13】図12に示した提案の装置による各部の信号レベルを表わした各種波形図である。

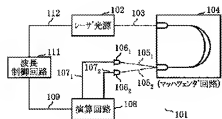
【図14】図12に示した提案に類似した他の装置を示したブロック図である。

【図15】エタロンを使用して波長の監視制御を行う従来提案された装置の要部を示した概略構成図である。

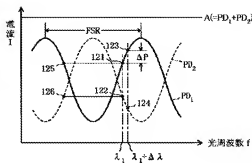
【符号の説明】

- 1 02 レーザ光源
- 1 03 レーザ光
- 1 04 マッハツェンダ回路
- 1 06 1 第1のフォトダイオード
- 1 06 2 第2のフォトダイオード
- 1 08 演算回路
- 1 11、2 51 波長制御回路
- 2 01 光送信機
- 2 02 光マルチプレクサ
- 2 08 光デマルチプレクサ
- 2 09 光受信機
- 2 11 ノード
- 2 21 入力側アレイ導波路回折格子 (AWG)
- 2 31 出力監視制御装置
- 2 61、2 61 A 出力側スラブ導波路
- 2 62 出力導波路
- 2 63、2 64、2 71 モニタ出力導波路

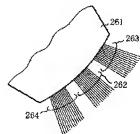
【図1】



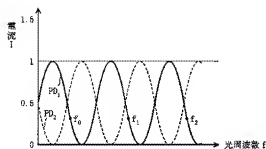
【図2】



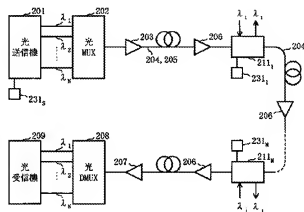
【図7】



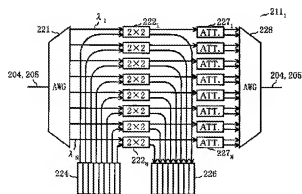
【図3】



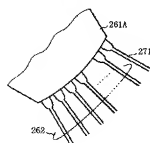
【図4】



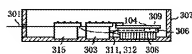
【図5】



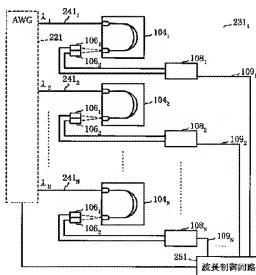
【図8】



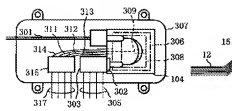
【図10】



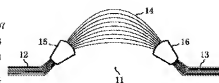
【図6】



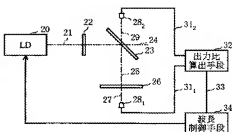
【図9】



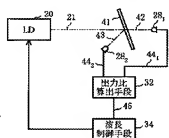
【図11】



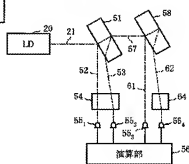
【図12】



【図14】



【図15】



【図13】

